

CONDICIONANTES PARA LA IMPLANTACION DE ENERGÍA EÓLICA EN INSTALACIONES AEROPORTUARIAS

Sergio Ortega-Alba* Ingeniero de Telecomunicación y Máster en Investigación en Ingeniería Industrial

*AENA-AEROPUERTO DE SANTANDER. Dpto. de Calidad y Medio Ambiente. Carretera del Aeropuerto s/n, 39600 Maliaño, Camargo (Cantabria). Tfno.: +34 942 202 444. sortega@aena.es.

Recibido: -- Aceptado: - DOI: 10.(A cumplimentar por el Editor)

CONDITIONING FOR THE IMPLEMENTATION OF WIND ENERGY IN AIRPORTS

ABSTRACT:

This article analyzes the conditions for the implementation of wind energy in airport facilities, considering safety and requirements according to international standards related to free airspace for aircraft can enter and leave it in a safe, also known as the aeronautical easements. Other particular aspects of an airport are also analyzed, such as marking and signaling, the affection of the environment, the quality of the electric supply, the characteristics of the wind resource and the economic constraints.

With such data, this paper seek to lay the technical precedents that an engineer should consider to design a wind power facilities in airports, due to existing papers do not focus on the great potential of this type of locations for wind facilities because of the special conditions that have this type of transport infrastructure.

Keywords:

Wind Energy, Wind Turbine, Airport, Aeronautical Easements.

RESUMEN:

Este artículo analiza los condicionantes para la implantación de energía eólica en instalaciones aeroportuarias, teniendo en cuenta la seguridad operacional y sus requisitos acorde a la normativa internacional en relación al espacio aéreo libre de obstáculos para que las aeronaves puedan entrar y salir de él de manera segura, conocido también como servidumbres aeronáuticas. También se analizan otros aspectos particulares de un aeropuerto como son el señalamiento y balizamiento, la afección con el medio ambiente, la calidad del suministro eléctrico, las características del recurso eólico y los condicionantes económicos.

Con dichos datos, este artículo busca sentar los precedentes técnicos que se deben tener en cuenta cada vez que un ingeniero proyecte una instalación de energía eólica en aeropuertos, ya que los trabajos existentes en la actualidad no se centran en la gran potencialidad de este tipo de ubicaciones para las instalaciones eólicas por los condicionantes especiales que tiene este tipo de infraestructuras de transporte.

Palabras clave:

Energía Eólica, Aerogenerador, Aeropuerto, Servidumbres Aeronáuticas.

1.- INTRODUCCION

Los aeropuertos son centros con instalaciones muy diversas, en los que se realiza el intercambio entre el transporte aéreo y el de superficie, en cuyo ámbito se ofrecen una amplia gama de servicios, desde los más esenciales para la actividad aeroportuaria y aeronáutica, hasta actividades complementarias como atención a los clientes: pasajeros, compañías, acompañantes, etc.

Los principales recursos naturales demandados en un aeropuerto son agua y energía, debido tanto por el número de personas que utilizan sus instalaciones (trabajadores y usuarios) como por el tamaño de las mismas. Dicha energía eléctrica, la exigencia de su disponibilidad, la seguridad en su suministro a un coste razonable y su producción con parámetros de sostenibilidad es uno de los grandes temas de interés de gestores aeroportuarios.

Las tecnologías de energías renovables presentan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía, y frente a la mayoría de los pronósticos realizados hace apenas unos años, hoy la energía eólica no solo crece de forma imparable y bate todos los récords, sino que además se ha convertido en la mejor demostración de que las energías renovables pueden contribuir a transformar el modelo energético tradicional.

La implantación de energía eólica en aeropuertos puede verse en principio incompatible debido a la necesidad de zonas libres de obstáculos por parte de las aeronaves para su aterrizaje y despegue seguro. Sin embargo, mediante un análisis riguroso de las sinergias existentes entre el mundo de la ingeniería aeroportuaria y el de la ingeniería eólica, se explicarán los conceptos clave que posibiliten el desarrollo de este tipo de instalaciones de energía renovable en estas infraestructuras de transporte.

2.- ESTADO DEL ARTE

El complejo escenario formado por factores energéticos y ambientales conducen a una presión económica y política en la administración de los aeropuertos que lleva a reducir el consumo de energía y por tanto a reducir al mínimo la huella ambiental del aeropuerto (Rowlings et al., 2008).

No existe excesiva actividad investigadora en relación a las posibilidades de instalación de energía eólica en instalaciones aeroportuarias, y la existente se centra en general en otras energías renovables como la energía solar. Este es el caso de (Ruther et al., 2005 y 2009), en los cuales se hacen estudios para solarizar aeropuertos brasileños, o (Koroneos et al., 2009), donde se analizan diferentes tipos de energías renovables para un aeropuerto griego.

De una manera más genérica, encontramos en (Rowlings et al., 2008) una descripción de diferentes tecnologías de energías renovables que podrían utilizarse en instalaciones aeroportuarias, dando breves razones para las mismas.

3.- CONDICIONANTES PARA LA IMPLANTACION DE ENERGÍA EÓLICA EN INSTALACIONES AEROPORTUARIAS

Los Condicionantes más importantes para la Implantación de Energía Eólica en Instalaciones Aeroportuarias y que se analizan en los siguientes apartados son los siguientes:

- 1) Emplazamiento.
- 2) Aerogenerador.
- 3) Recurso Eólico.
- 4) Generador Eléctrico
- 5) Señalamiento e iluminación.
- 6) Medioambientales.
- 7) Económicos.

3.1.- ELECCION DEL EMPLAZAMIENTO

La elección del emplazamiento de un aerogenerador en una instalación aeroportuaria es una cuestión muy delicada debido a la importancia de la eliminación de obstáculos para que las aeronaves puedan realizar las maniobras de aterrizaje y despegue de una manera segura.

La OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) es la organización internacional que legisla sobre la normativa aeroportuaria que es aplicable a todas las autoridades aeronáuticas a nivel internacional. Entre su normativa se encuentra el documento denominado Anexo 14 al Convenio de Aviación Civil Internacional (OACI, 2009), el cual describe las superficies imaginarias que limitan la altura y emplazamiento de los obstáculos debido a las afecciones con las servidumbres físicas y radioeléctricas en un aeropuerto.

Según la clasificación de aeropuertos establecidas por OACI, para la realización de este artículo se ha fijado como punto de partida los Aeropuertos Clase 4 (aquellos con longitud de pista mayor de 1800 metros) y con aproximación de precisión (las aeronaves usan instrumentos electrónicos para el aterrizaje), ya que es el caso más habitual para aeropuertos de aviación comercial, siendo además el caso más restrictivo en relación a las servidumbres aeronáuticas.

3.1.1.- Servidumbres Físicas Aeronáuticas

La importancia de las servidumbres físicas aeronáuticas reside en que establece las diferentes distancias de seguridad en relación a la pista de aterrizaje que deberá cumplir la instalación de energía eólica que queramos emplazar en el aeropuerto en cuestión (OACI, 2009).

Las superficies de subida en el despegue y de aproximación para aterrizaje, formadas por la prolongación de cada uno de los extremos de la pista es una de las superficies más restrictivas en cuanto a la eliminación de obstáculos debido a que en ellas se realizan las trayectorias de aterrizaje y despegue de las aeronaves, por lo que esta área es no apta para la instalación de aerogeneradores.

La franja de pista es una zona que comprende 150 metros en paralelo a cada uno de los ejes de la pista, destinada a reducir el riesgo de daños a las aeronaves que se salgan de la pista y proteger a las aeronaves que la sobrevuelan durante las operaciones de despegue o aterrizaje. Debe ser una zona libre de obstáculos por lo que es no apta para la instalación de aerogeneradores.

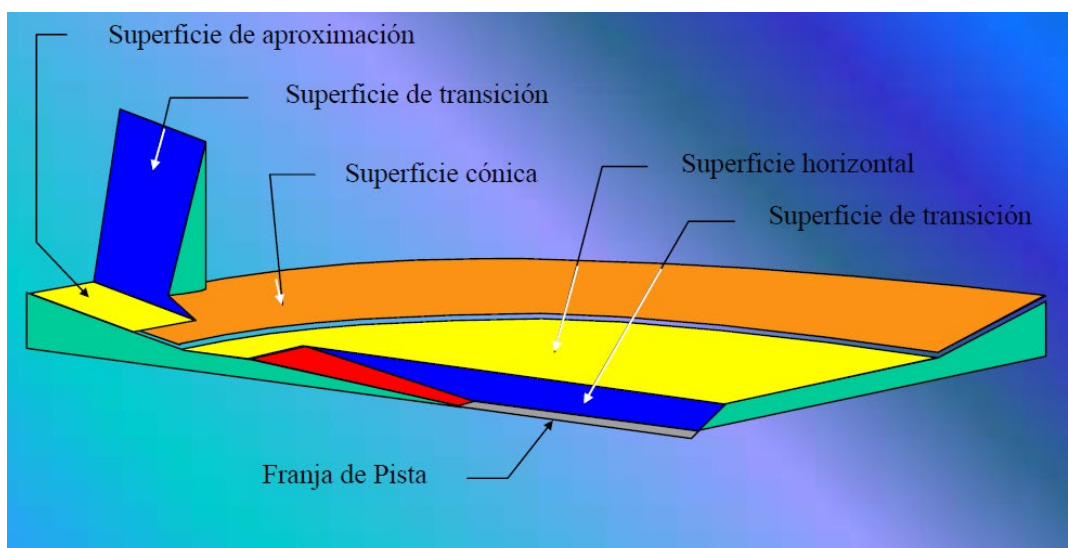


Fig. 1. Servidumbres Físicas Aeronáuticas de un Aeropuerto. Fuente: Anexo 14 de OACI.

La superficie de transición, la cual es una superficie de pendiente ascendente, que se extiende desde la franja de pista hacia afuera desde dos líneas paralelas al eje de pista hasta la superficie horizontal interna, una a cada lado, es también una superficie no apta para la instalación de aerogeneradores, debido a su cercanía a la pista y las restricciones en cuanto a la altura de los obstáculos.

La superficie horizontal interna es una superficie plana horizontal que parte desde la superficie de transición, a una distancia de 315 metros del extremo de franja de pista o lo que es lo mismo, 465 metros desde el eje de la pista, que estará contenida en un plano horizontal a 45 metros por encima del punto de referencia del eje de la pista y constituida por un círculo, con centro en la vertical de dicho punto y con un radio de 4.000 metros. Esta zona es la única apta en un aeropuerto para la instalación de aerogeneradores en un aeropuerto, el cual deberá ser de altura menor de 45 metros para el conjunto torre-pala.

La superficie cónica no se tiene en cuenta debido a que está ubicada fuera del recinto aeroportuario en la mayor parte de los casos.

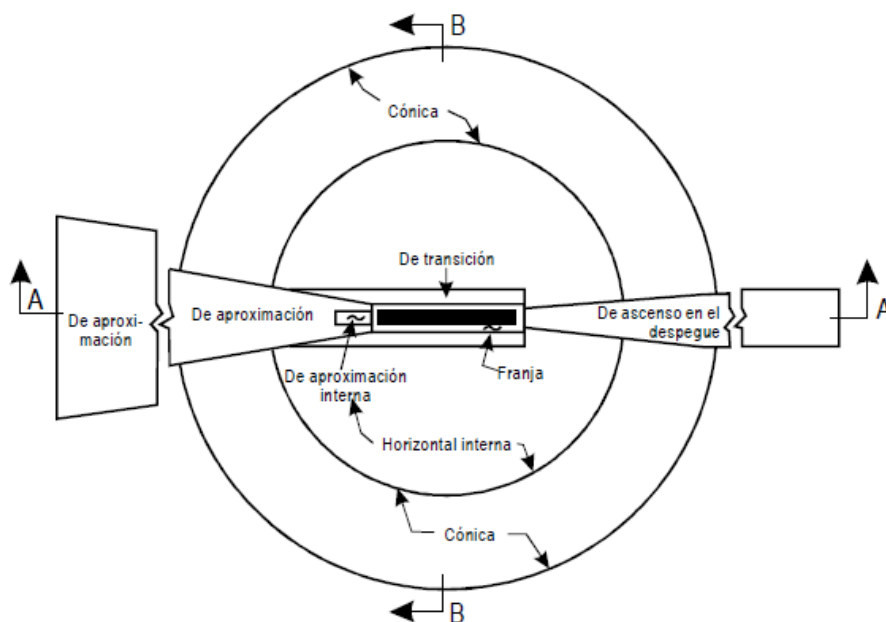


Fig. 2. Servidumbres Físicas Aeronáuticas de un Aeropuerto. Fuente: Anexo 14 de OACI.

3.1.2.- Servidumbres Aeronáuticas Radioeléctricas

Las interferencias electromagnéticas ocurren cuando hay objetos demasiado cercanos a un equipamiento radioeléctrico, los cuales reflejan o bloquean la transmisión de las señales entre la antena y el receptor. Aunque es posible que la interferencia pueda ser causada por otras señales de comunicaciones, es más común que sea causado por estructuras físicas ubicadas entre el emisor y el receptor (Barret, 2011). Las turbinas eólicas pueden causar diferentes efectos como retornos falsos de señal, pérdidas de sensibilidad del receptor, sombras de señal, saturación de receptor, etc. Asimismo el efecto acumulativo de varios aerogeneradores juntos es mucho más importante que un único aerogenerador en solitario (CCA, 2012). Por ello, las normativas existentes especifican el cumplimiento de las distancias de seguridad para la construcción de infraestructuras eólicas cercanas a los sistemas de radio-navegación aérea, y así asegurar el buen funcionamiento de estos equipos radioeléctricos (Etayo, 2007).

Aunque pueden encontrarse variados equipamientos radioeléctricos en un aeropuerto, los elementos más influyentes para la instalación de un aerogenerador son la ubicación de la Torre de Control y Centro de Emisores. Como norma general debe mantenerse una distancia de seguridad sin obstáculos de 200 o 300 metros alrededor de ellas en función de lo especificado en la Tabla I para cada tipo de equipamiento radioeléctrico (España, 1972). A partir de ahí, existe una zona de limitación de altura alrededor de ellas que va aumentando en función de la pendiente establecida en la Tabla I para cada tipo de equipamiento, la cual no es tan restrictiva como pudiera parecer en un principio debido a que la propia altura de referencia de las antenas tanto en la Torre de Control como en los Centros Emisores está aproximadamente entre 25-35 metros por motivos de optimización de las radiocomunicaciones, y la máxima altura del conjunto torre-pala será de 45 metros según se vio en el apartado de servidumbres físicas.

Instalación	Zona de seguridad (Metros)	Zona de limitación de alturas (Metros)	Superficie de limitación de alturas (Pendiente %)	Instalación	Zona de seguridad (Metros)	Zona de limitación de alturas (Metros)	Superficie de limitación de alturas (Pendiente %)
Radiobaliza marcadora tipo «Z» (75 MHz).....	200	1. 000	100	Centro de emisores o receptores:			
Radiobaliza marcadora en abanico «FanMarker» (75 MHz).....	200	1. 000	100 ó 50 (A)	Frecuencias bajas (LF) o medias (MF).....	200	2. 000	10 (A)
Radiofaros no direccionales.....	300	2. 000	10 (A)	Frecuencias altas (HF).....	300	2. 000	7, 5 (A)
Radiofaro omnidireccional VHF (VOR), equipo medidor de distancia (DME) y TACAN.....	300	3. 000	3	Frecuencias muy altas (VHF) o ultra elevada (UHF).....	300	2. 000	5 (A)
Radiogoniómetro VHF (VDF) o UHF (UDF).....	300	5. 000	2	Enlace hertziano entre dos instalaciones:			
Radar de vigilancia primario o secundario (SSR).....	300	5.000	Entre – 5 y + 2	Cualquier frecuencia.....	200	(B)	(C)

Tabla I. Servidumbres Radioeléctricas. Fuente: Ministerio de Fomento.

3.1.3.- Metodología de elección del emplazamiento.

El proceso de elección del emplazamiento debe comenzar mediante el análisis del mapa de servidumbres del aeropuerto donde se estudien los diferentes espacios viables para la instalación de la instalación eólica en función de los condicionantes que establecen las servidumbres físicas y radioeléctricas en un aeropuerto concreto. Es decir, el aerogenerador o aerogeneradores sólo podrán emplazarse en aquella ubicación contenida dentro de la superficie horizontal del aeropuerto que cumplan con las distancias de seguridad establecidas para las instalaciones radioeléctricas).

El número de aerogeneradores a instalar dependerá de la superficie disponible en función de las servidumbres aeronáuticas del aeropuerto en cuestión, siempre teniendo en cuenta que los aerogeneradores habitualmente se disponen en filas, perpendiculares a la dirección del viento predominante, separados entre ellos unos tres diámetros de rotor. Con esta separación se trata de evitar que las turbulencias provocadas en el viento por cada máquina afecten al resto de aerogeneradores. Por la misma razón, la separación entre filas paralelas de aerogeneradores suele ser superior a siete diámetros de rotor. Debido a ello y a la limitación de espacio no será probable instalar más de 2-3 aerogeneradores en un aeropuerto.

En todos los casos es obligatorio realizar un estudio de seguridad operacional y estudio radioeléctrico que garantice que la instalación eólica no supone un peligro para las aeronaves y que la señal de las instalaciones radioeléctricas no se ve afectada, el cual deberá presentarse para su aprobación a la autoridad aeronáutica nacional.

3.2.- CARACTERÍSTICAS DEL AEROGENERADOR

Las tecnologías de eje horizontal se han impuesto frente a las de eje vertical, debido a la mayor eficiencia eólica de las primeras. En el caso de las instalaciones aeroportuarias el factor limitante para este tipo de aerogeneradores es su altura, la cual debe ser menor de 45 metros para el conjunto formado por la torre y pala para no vulnerar la superficie horizontal interna del aeropuerto. En líneas generales, la altura de la torre suele ser igual al diámetro del rotor ya que la altura final es un compromiso entre el coste y la mayor energía que se puede extraer del viento, como consecuencia de las mayores velocidades que éste tiene en función de la altura. En este caso concreto y para la realización de los cálculos correspondiente la altura máxima de la torre se supone de 30 metros y el radio de la pala de 15 metros, evitando así la vulneración de las servidumbres físicas aeronáuticas y maximizando la cantidad de energía a producir.

Luego se calcula la potencia eólica disponible para esa turbina mediante la siguiente ecuación (Bastianon, 1994):

$$P = \frac{\rho A C_p V^3}{2} \quad (1)$$

Donde:

P = Potencia, en W.

ρ = Densidad del aire (1.225 g/cm^3).

A = Superficie ortonormal atravesada por el viento, en m^2 .

V = Velocidad del viento, en m/s .

C_p = Coeficiente de potencia eólica (máximo 0,59 teórico - Límite de Belz – y 0,30-0,45 en la práctica)

En general, la mayoría de los aerogeneradores empiezan a producir energía a velocidades de unos 4 m/s (velocidad de arranque), logran la potencia nominal a aproximadamente 13 m/s , y se detiene la producción de energía a 25 m/s (velocidad de corte) (Bastianon, 1994).

La siguiente tabla muestra las variaciones en la potencia en función del coeficiente de potencia de una manera teórica:

Coeficiente de Potencia (C_p)	0,30	0,35	0,4	0,45
Potencia (kW)	285,36	332,92	380,48	428,04

Tabla II. Potencia del Aerogenerador en función del Coeficiente de Potencia.

Si nos basamos en algún modelo comercial existente en la actualidad, como puede ser el T300-28 de la empresa Turbowinds (Turbowinds, T300-28), obtenemos una potencia nominal de 300 kW para un modelo con radio de 14 metros, altura de torre de 30 metros y una velocidad nominal de 14 m/s .

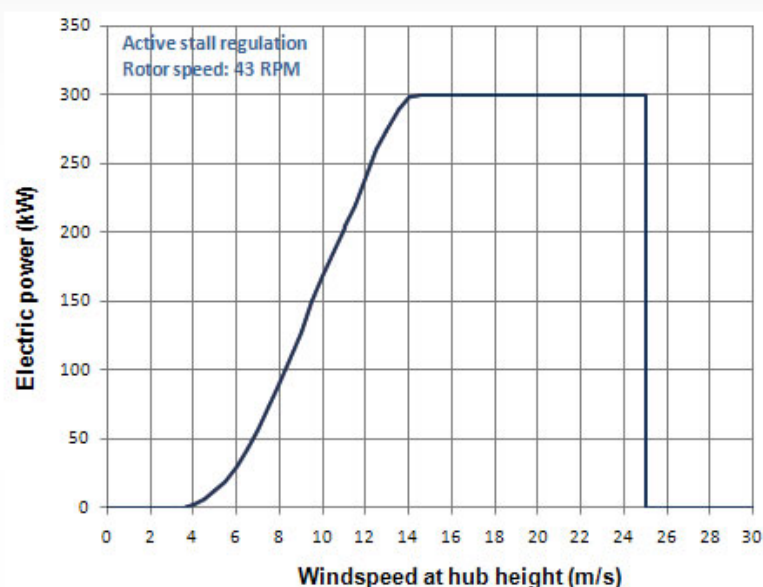


Fig. 3. Potencia generada por un aerogenerador comercial T300-28 en función de la velocidad del viento. Fuente: Turbowinds

De forma general y en función de los cálculos teóricos, para una velocidad nominal estándar de 13 m/s , la máxima potencia nominal por aerogenerador en una instalación aeroportuaria con una torre de altura máxima 30 m y unas palas de radio máximo 15 metros puede variar entre 285-428 kW, en función del valor del C_p , sin tener en cuenta las pérdidas propias de los componentes del aerogenerador. A modo de comparación, la potencia de un aeropuerto de tamaño medio como el Santander y clima suave varía entre los 350 kW y los 600 kW, en función principalmente del funcionamiento o no del equipamiento de climatización del edificio terminal.

3.3.- RECURSO EOLICO

3.3.1.- Evaluación del Recurso Eólico

Una vez obtenidos los espacios viables en función de las servidumbres aeronáuticas del aeropuerto en cuestión, el objetivo más importante en la selección de emplazamientos para instalaciones eólicas es maximizar la captación de energía para reducir el coste de producción. Para ello se deberá determinar la producción energética dentro del emplazamiento permitido en función de las medidas de vientos obtenidas mediante la realización de un exhaustivo estudio del recurso eólico en el emplazamiento, incluso empleando técnicas de microlocalización, y aprovechando como base el estudio existente como fase previa a la construcción del aeropuerto.

Los registros meteorológicos pueden obtenerse normalmente de las oficinas meteorológicas estatales, los cuales disponen en la mayor parte de las ocasiones de estaciones de medición en los aeropuertos ya que es una información clave a suministrar a los pilotos de las aeronaves. De ser así, se deben consultarse los registros existentes en relación a la rosa de vientos de la localización de los últimos años así como la frecuencia y velocidad con que procede el viento para cada dirección.

3.3.2.- Orientación del Aerogenerador

En términos generales, las pistas de un aeropuerto deben estar orientadas en la dirección del viento predominante, ya que el viento en contra de las aeronaves favorece la sustentación en el despegue y favorece las maniobras de frenado en el aterrizaje (García-Cruzado, 2006). Debido a ello, la configuración más factible para un aerogenerador instalado en un aeropuerto será con el rotor a barlovento perpendicular a la pista y orientado en la dirección de viento predominante. En este caso es un factor positivo de las instalaciones aeroportuarias el tener la misma necesidad de orientación de vientos tanto para las maniobras de aterrizaje y despegue como de aprovechamiento del recurso eólico en un aerogenerador.

3.3.3.- Variación de la velocidad del viento con la altura

Cerca de la superficie terrestre, a nivel local, soplan vientos caracterizados por el relieve del terreno y otras variables como la rugosidad y altura. Una superficie muy rugosa como un bosque o una aglomeración de casas causará turbulencias y frenará el viento, mientras que otra muy lisa como el mar favorecerá el desplazamiento del aire (Bastianon, 1994).

Aparte de las características topográficas, las obstrucciones en la superficie terrestre afectan la calidad del recurso eólico en una zona. El viento en la atmósfera fluye libre pero su intensidad se ve disminuida y circula de manera turbulenta al circundar la superficie terrestre y al encontrar a su paso obstáculos, como árboles, construcciones, etc. En el caso concreto de un aeropuerto la rugosidad del terreno es muy favorable al ser un terreno liso. Además, no dispone de obstáculos que puedan disminuir la velocidad del recurso eólico debido a las limitaciones que impone las servidumbres físicas, por lo que es un emplazamiento favorable para la instalación de aerogeneradores si el recurso eólico disponible es bueno.

3.3.4.- Energía producida en función del recurso eólico

Se puede realizar una estimación de la energía producida por un aerogenerador en función de los datos presentados en apartados anteriores (tamaño aerogenerador y potencia asociada) y variando el parámetro factor de capacidad, el cual se define como la relación entre la energía generada por un aerogenerador durante un período dado y la que se hubiera producido si durante ese período hubiese estado funcionando continuamente a potencia nominal. El valor del Factor de Capacidad (FC) debe ser mayor del 20% para que un sistema de generación de electricidad, ya sea un aerogenerador o

una agrupación de aerogeneradores (parque eólico), se considere de forma preliminar factible económicamente (Bastianon, 1994).

	Potencia = 285,36 kW - $C_p = 0,30$	Potencia = 332,92 kW - $C_p = 0,35$	Potencia = 380,47 kW - $C_p = 0,40$
Factor de Capacidad	Energía (kWh)	Energía (kWh)	Energía (kWh)
20%	499.950,72	583.275,84	666.595,89
25%	624.938,40	729.094,80	833.244,87
30%	749.926,08	874.913,76	999.893,84
40%	999.901,44	1.166.551,68	1.333.191,79

Tabla III. Energía producida por un aerogenerador en función del coeficiente de potencia y factor de capacidad.

Si volvemos a utilizar el modelo comercial T300-28 de la empresa Turbowinds como en el apartado anterior (Turbowinds, T300-28), obtenemos la siguiente gráfica de energía producida por aerogenerador para un modelo de radio de 14 metros, altura de torre de 30 metros y una velocidad de viento variable:

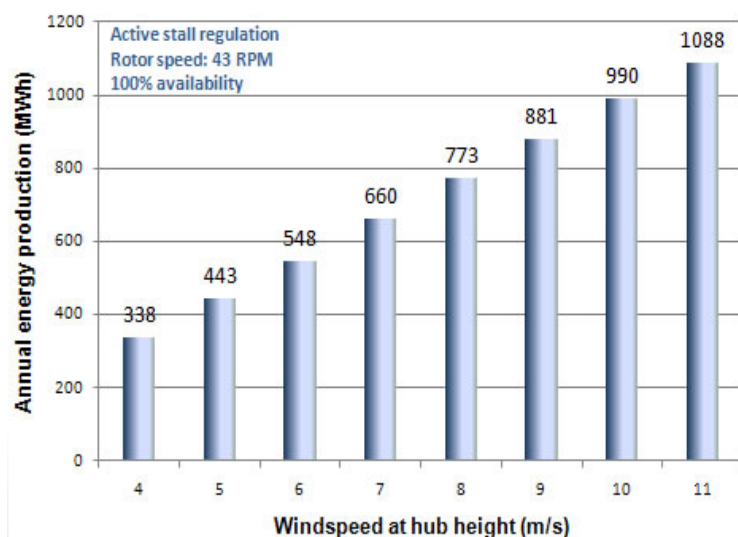


Fig. 4. Energía producida por un aerogenerador comercial T300-28 para una velocidad de viento variable. Fuente: Turbowinds.

De forma general y en función de los cálculos teóricos anteriores, para una potencia nominal por aerogenerador entre 285-380 kW, una altura máxima de torre de 30 metros y rotor de radio 15 metros, y en función de un valor del C_p que puede variar entre 0,30 y 0,40, la energía producida varía entre 0,5 GWh y 1,33 GWh por aerogenerador, en función de un factor de capacidad que varía entre el 20% y 40%. A modo de comparación, la energía consumida por un aeropuerto de tamaño medio como el Santander en el año 2.012 fue aproximadamente de 2,5-3 GWh.

3.4.- GENERADOR ELÉCTRICO

En cualquier aeropuerto existen dos fuentes de alimentación de energía eléctrica: Fuente de energía externa de alimentación o primaria (normalmente procedente de compañía suministradora) y fuente interna, de autogeneración o secundarias (uso de grupos electrógenos, USI's, etc.), la cual entra en funcionamiento en caso de fallo de la primaria. Asimismo es importante respetar los requisitos de calidad de suministro eléctrico y en particular los relacionados con los tiempos de conmutación entre fuentes primaria y secundaria, los cuales son especificados por la normativa

internacional (OACI, 2009). Las opciones existentes en relación a la generación eléctrica procedente de una instalación de energía eólica en un aeropuerto son varias:

- 1) Uso como fuente primaria: Este diseño no es viable debido a que el viento es un recurso variable que puede hacer que durante grandes períodos de tiempo no se produzca la suficiente energía como para sostener toda la infraestructura del aeropuerto.
- 2) Uso como fuente secundaria: Esta opción no es factible debido a la alta fiabilidad de las redes primarias de las suministradoras (con dobles acometidas en algunos casos) y al consiguiente no aprovechamiento de dicha energía producida por la instalación eólica.
- 3) Venta de la energía producida a la red: Esta opción de venta de energía a la red puede ser factible pero las constantes modificaciones legislativas pueden hacer peligrar la viabilidad económica del proyecto.
- 4) Uso como fuente primaria sincronizada con la red y venta de la energía sobrante: Esta opción permite autoabastecerse mediante energía eólica el aeropuerto y en caso de que la potencia generada no sea suficiente para abastecerlo se complementaría con la energía eléctrica de la compañía suministradora. En el caso contrario, si la instalación de energía eólica produjera más energía eléctrica de la necesaria, ésta se vertería a red para obtener la retribución económica correspondiente. Esta opción es la más factible de todas para un entorno aeroportuario.

Debido a ello y para esta última opción se puede optar tanto por generadores síncronos como asíncronos, siempre que se cumplan con los requerimientos establecidos previamente.

3.5.- SEÑALAMIENTO E ILUMINACION

Los álabes del rotor, la góndola y el mástil de soporte de las turbinas eólicas deben pintarse de color blanco, excepto cuando se indique de otro modo en un estudio aeronáutico. Las palas del rotor deben contener bandas de color rojo o anaranjado, en número de 2 por pala y con una longitud de $1/7$ del radio de la pala, separadas también entre sí una distancia de $1/7$ del radio de la pala (OACI, 2009).

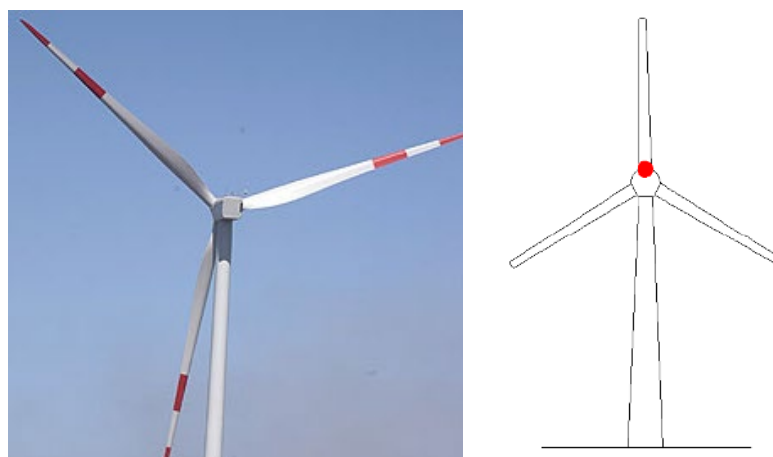


Fig. 5. Señalamiento y Balizamiento de un Aerogenerador en Aeropuerto. Fuente: Ministerio de Fomento.

Los aerogeneradores menores de 45 metros deben utilizar balizas de obstáculo de baja intensidad en funcionamiento las 24 horas del día. La iluminación se debe instalar en todos los casos en la parte superior de la góndola del aerogenerador de manera que las aeronaves que se aproximen desde cualquier dirección tengan una vista sin obstrucciones. Para asegurar la fiabilidad de los sistemas de iluminación instalados dichos sistemas deben disponer de un dispositivo monitor remoto de aviso de alarma en caso de fallo y deben disponer de una fuente de energía secundaria que asegure el

funcionamiento de la iluminación al menos en las 12 horas siguientes desde que se produce el fallo en la alimentación principal (España, 2011).

3.6.- AFECCIONES MEDIOAMBIENTALES

En el caso de una instalación aeroportuaria el proceso de percepción paisajístico por parte de la población es probable que sea positivo, debido a que la utilidad práctica del aerogenerador es abastecer de energía eléctrica al aeropuerto en cuestión. Asimismo, la instalación de aerogeneradores en aeropuertos supone una novedad y puede llegar a representar un símbolo para el aeropuerto y la comunidad en cuestión.

La influencia de la energía eólica sobre la flora en un aeropuerto no es relevante por el propio hecho de que el aeropuerto supone un impacto mayor sobre la misma, así como que la obligatoriedad por parte del gestor aeroportuario de realizar un control exhaustivo de la flora para no interferir con la seguridad operacional de las aeronaves.

El control de la avifauna es una tarea fundamental en la gestión aeroportuaria con objeto de garantizar la seguridad de las operaciones de las aeronaves. Se deben minimizar el número de aves que circulan alrededor del recinto y por ello el impacto de una instalación de energía eólica sobre la avifauna en la zona será mínimo, al ser la el número de aves también limitado.

El ruido generado por los aerogeneradores no será tan grande como el de las turbinas de 2 MW actuales, y se verá enmascarado por el ruido procedente de los aviones. Este ruido impactará no sobre poblaciones cercanas, sino sobre los trabajadores y usuarios del aeropuerto, por lo que es recomendable mantener una distancia de seguridad respecto a la turbina de al menos 200 metros mediante la protección de la zona de influencia del aerogenerador.

3.7.- CONDICIONANTES ECONÓMICOS

La principal inversión en una instalación eólica se produce durante la instalación de los sistemas. Después, los costes de mantenimiento son pequeños en relación a la inversión inicial. Los parámetros principales a tener en cuenta, particularizados para un aeropuerto, son:

- 1) Aerogeneradores: La altura de los aerogeneradores en aeropuertos está limitado a una altura máxima de torre más palas de 45 metros, lo cual puede hacer que el diseño del aerogenerador deba ser realizado a medida no encontrando una solución comercial ya existente, lo cual hará que la inversión en el mismo sea mayor si lo analizamos mediante la relación Coste/Potencia Nominal.
- 2) Número de aerogeneradores: El número de aerogeneradores siempre será menor que un parque eólico tradicional, por lo que no se podrán aprovechar las economías de escala.
- 3) Propiedad de los terrenos: La propiedad de los terrenos pertenece al propio gestor aeroportuario que está promocionando su instalación, lo cual supondrá una importante reducción en el coste de la instalación.
- 4) Condiciones del emplazamiento y transporte: Los accesos hasta el aeropuerto ya están habilitados al ser una infraestructura abierta al público, lo cual beneficiará a los costes de transportes de los aerogeneradores.
- 5) Distancia a la red eléctrica: El tendido eléctrico deberá ser subterráneo hasta la central eléctrica del aeropuerto, y por lo tanto el coste asociado, será mucho menor que en instalaciones típicas para este tipo energía renovable, al ser la distancia también menor.
- 6) Trabajo en aeropuertos: El hecho de realizar una obra en un aeropuerto lleva asociado unos costes debido a la mayor cualificación del personal necesario así como los seguros asociados y las posibles interrupciones en los trabajos debido a su influencia con las operaciones aéreas.

Por lo tanto, en un aeropuerto los costes de la inversión de una instalación eólica pueden aumentar o disminuir respecto a un emplazamiento tradicional en función de los condicionantes expresados anteriormente y que deberán tenerse en cuenta para el correspondiente estudio de viabilidad.

4.- CONCLUSIONES

En este trabajo se han estudiado los diferentes condicionantes que existen para la implantación de energía eólica en aeropuertos. Para ello se han analizado las sinergias existentes entre dos mundos, el de la ingeniería eólica y la aeroportuaria, que a priori parecen incompatibles, para ver desde un punto de vista físico y radioeléctrico (servidumbres aeronáuticas) las distancias mínimas a cumplir así como la altura máxima de la instalación, así como desde un punto eléctrico cual sería la mejor manera de utilizar esa energía producida. Con estos datos se ha calculado la potencia estimada por aerogenerador en un aeropuerto así como la posible energía producida en función del factor de capacidad. También se han analizado las afecciones medioambientales de la instalación, la necesidad de señalizarlo y balizarlo y la obligación de realizar un estudio de seguridad operacional y radioeléctrico para su aprobación por la autoridad aeronáutica nacional.

La instalación de energía eólica en aeropuertos es un campo de trabajo con mucho potencial en un futuro próximo debido la mayor preocupación existente por la sostenibilidad medioambiental y la necesidad de ahorrar de costes en materia de energía, enlazando con otras posibles líneas de investigación como son la energía mini-eólica y la posibilidad de combinar un mix de energías renovables para lograr aeropuertos auto suficientes energéticamente.

5.- BIBLIOGRAFÍA

- Barret S. *Investigating Safety Impacts of Energy Technologies on Airports and Aviation*. 1ª edición. Washington: Transportation research board, 2011. 49 p. ISBN: 978-0-309-14348-6.
- Bastianon R. *Energía del Viento y Diseño de Turbinas Eólicas*. 2ª Edición. Buenos Aires: Tiempo de Cultura, 1994. 190 p. ISBN: 950-9135-29-1.
- CCA. *Policy and Guidelines on Wind Turbines*. 4ª Edición. Norwich: UK Civil Aviation Authority, 2012. 64 p. ISBN: 978-0-11792-634-9.
- España. Decreto 584/1972, de 24 de febrero, de Servidumbres Aeronáuticas. *Boletín Oficial del Estado*, 21 de marzo de 1972, núm. 69, p.4943.
- España. Ministerio de Fomento. Guía de Señalamiento e iluminación de Turbinas y Parques Eólicos . *Agencia Estatal de Seguridad Aérea*, Edición 1.2, 24 de enero de 2011, p.18.
- Etayo I. "Análisis de la Influencia de los Parques Eólicos en la propagación de ondas electromagnéticas y en la prestación de servicio de sistemas terrenales de radio-navegación aérea cercanos". Director: Falcone F. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Navarra, E.T.S.I. de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Pamplona, 2007.
- García-Cruzado M. *Ingeniería Aeroportuaria*. 3ª Edición. Madrid: E.T.S. de Ingenieros Aeronáuticos, 2006. 919 p. ISBN: 978-84-864-0207-5
- Koroneos C, Xydis G, Polyzakis A. "The optimal use of renewable energy sources - The case of the new international airport of Thessaloniki, Greece". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. Volume 14-6 p.1622–1628.
- OACI. *Diseño y Operaciones de Aeródromos*. Anexo 14 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Edición 5. Montreal: OACI, 2009.
- Rowlings A., Arron R. "Sustainable Energy Options for the Future Airport Metropolis". In: *Proceedings 4th IASME/WSEAS International Conference*. 2008. p. 21-26,

- Ruther R, Braun P. "Energetic contribution potential of building-integrated photovoltaics on airports in warm climates". *Solar Energy*. 2009. Vol.83 p.1923-1931.
- Ruther R, Braun P. A future multi-billion Euro PV market?. *Refocus*. 2005. Volume 6-4 p.30-34.
- Turbowinds. Especificaciones técnicas aerogenerador T300-28. <http://www.turbowinds.com/index.php?page=T-300>.